第27卷 第6期 腐蚀科学与防护技术 Vol.27 No.6
2015年11月 CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY Nov. 2015

经验交流

钢质套管穿越段管道非直接检测与初步评价

刘 波 杨 燕 王树立 赵书华 张永飞 龙凤仪
常州大学 江苏省油气储运技术重点实验室 常州 213016

摘要:以穿越段为检测对象,采用PCM,ACVG,CIPS及电位分配法等检测技术分析了套管和管道绝缘性、套管上下游管道的ON/OFF电位以及套管与管道短路的位置。结果表明:穿越段A处套管和管道发生短路,连接点位于套管西端4 m处,管道处于欠保护的状态,应立即修复,修复方案宜采用修整管道结构方法;穿越段B处套管环形空间内有电解质存在,但管道处于阴极保护状态,应把修复工作纳入计划之中。

关键词:油气管道 钢质套管 套管穿越 非直接检测 初步评价
中图分类号:TE988 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-6495(2015)06-0608-05

1 前言

我国油气管道建设已经进入高速发展时期,预计到"十二五"末,国内油气管线总长将达到1.6×10^5 km左右。随着管道建设速度不断加快,管道腐蚀造成的恶性事故时有发生,给社会造成了巨大的经济损失和严重的后果。在我国城市化急剧扩张和经济快速发展的背景下,管道与越来越多人类公共走廊交叉穿越,按照现行的油气管道穿越工程设计规范,穿越铁路或二级及二级以上公路时,应采用在套管或涵洞内敷设穿越管段[1]。通常在适宜的土壤环境下,管道安装采用管推新技术和特殊的耐磨管套,以此来防止管道防腐层破损和发生腐蚀[2],套管内主管道排除了第三方和外界作用力的破坏,使得人们通常认为是安全的,然而由于套管的存在屏蔽了保护电流,增加了主管道的外部腐蚀机率[3],使得该处成为管道防护的重点之一。

目前管道外腐蚀及防腐蚀系统的检测技术主要是通过对管道发生一定的电磁信号,而后利用接受设备来获取管道阴极保护情况和外涂层的完好情况。套管穿越处屏蔽了反馈信息,使得利用常规的外检测技术无法获取管道的腐蚀状况,针对该特殊处的检测和评价,美国推出了《2002管道安全与改善法案》以及NACE颁布了《钢质套管管道条例》,而且管道和危险材料安全管理部门(PHMSA)在2010年3月发布了《高后果区套管处天然气管道的完整性评价导则((0版)》,其中明确给出非直接检测工具的选择依据。目前国内尚无套管内管道非直接检测的检测方法、管道状况等级评估和管道修复的参考标准,通过对A、B两处穿越段的实地检测,依据非直接测试数据分析管道保护状况,同时给出不同的修复参考方案。

定稿日期:2015-03-18
作者简介:刘波,男,1991年生,硕士生
通讯作者:王树立,E-mail:wsl@cczu.edu.cn,研究方向为油气管道腐蚀与防护
DOI:10.11903/1002.6495.2015.037

2 检测方法与参考标准

2.1 检测方法

为了易于检测套管穿越段处管道的电位状况,一般在该处设有测试桩。分别对P/S和C/S的"ON"电位检测,如果两者间的电位差小于100 mV或更小,则表明管道存在搭接或电通道。利用PCM检测可向管道中施加特定频率交流信号,如果存在管道搭接或有电通道时,交流信号会有明显的衰减,反则,交流信号不变或有微弱的衰减,同时辅以ACVG法测量两固定金属地针之间的电位差,同样可以判断主管道与套管的绝缘性。为了消除IR降对测量管道上下游的真实保护电位的影响,可以应用CIPS密间隔电位测量法,若检测的断电电位低于−850 mV,说明管道处于欠保护的状态。通过上述检测方法,管道若存在短路,可采用电位分配法确定短路点的具体位置。

2.2 套管检测的参考标准

2.2.1 短路标准 NACE中定义金属短路为:两金属间直接或间接的金属连接。大部分金属短路位于套管端部,但也存在由于铁丝等金属在内部连接了套管和管道等情况。在分析套管内是否有腐蚀之前,首先依据NACE-SP0200-2008确定管道和套管之间是否存在短路,参考标准如表1。

2.2.2 其他等级分类参考标准 在长输管道ECDA检测中,套管处管道的完整性评价也属于其

中重要的一部分。套管处上游和下游200 m范围内调查的数据通常作为分析评价的依据,同时也可定期收集其他数据用于涂层状况和阴极保护效果评价,这些数据包括,阴极保护系统运行参数、干扰数据、管道和套管对地电位、地形和土壤信息、管道埋深及天气情况等。管道检测员利用规范的检测手段及相关的标准 (NACE RP2002) 对不同情况下管道的保护状况进行等级分类,可以初步评估出高后果区套管处管道的保护状况,通常参考的分类标准如表2。

3 检测实例

所检测管道全长119 km,管径610 mm,所用管材为L360,无缝埋弧焊接,管线采用涂层和阴极保护技术联合保护体系。管道穿越采用钢质套管,材质为16Mn,管径813 mm,壁厚10 mm。套管和管道外防腐涂层均采用环氧粉末 (FBE),套管内配有绝缘支撑垫,两端采用油麻丝填塞,沥青严格密封。穿越段A位于输油站进站1 km公路穿越处,测试桩为477,穿越长度24 m,测试时开挖套管东西端。穿越段B位于通往码头的公路下方,在测试桩480~481之间,穿越长度32 m。

3.1 穿越两端P/S和C/S电位检测

3.1.1 穿越段A处检测结果 对穿越段A处进行实地调查研究发现,该处设有一测试桩,管道和套管均有测试引线。利用Fluke289数字万用表分别对套管与管道的“ON”电位进行同时测试和记录 (图1)。测试结果表明,该穿越段管道阴保电位为−700 mV左右,低于−850 mV,处于欠保护的状态。套管对地电位稍负于管道电位,在−750 mV左右,远负于其自然电位−450 mV。说明有阴保电流流入套管和被保护的管道,套管与管道之间有电解质或电通道。

3.1.2 穿越段B处检测结果 对穿越段B处进行实地调查研究发现,该穿越处位于一码头的主要干道下方,周围水位较低,农田较多,管道和套管均有测试引线。利用Fluke289数字万用表分别对套

表1 套管穿越处短路参考标准

测试内容	严重情况	中等情况	轻微情况	良好情况
管道“ON”电位/mV	V<−840	−840≤V≤−850	−850<V≤−1000	V>−1000
套管与管道电位差/mV	△V<10	10≤△V≤100	△V>100	△V>150

表2 套管穿越处管道状况参考标准

测试方法	测试内容	轻微 (电解质和小的破损点)	中等 (电解质和中等的破损点)	严重 (金属短路)
P/S和C/S (行业标准)	电位	P/S和C/S “ON”电位值>100 mV	P/S和C/S “ON”电位差值在10~100 mV之间	P/S和C/S “ON”电位差值<10 mV
PCM	AC电流衰减	穿越套管电流衰减<5%	穿越套管电流衰减在5%-25%之间	穿越套管电流衰减>25%
PCM+	AC电压梯度	套管两端无迹象	指示值<80 dB	指示值>80 dB
P/C电阻 (行业标准)	电阻	P/C电阻值>0.5 Ω	P/C电阻值在0.01~0.5 Ω之间	P/C电阻值<0.01 Ω
通断恒电位仪 (主观性)	对比P/S和C/S电位变化	>100 mV时, C/S变化小于P/S的25%	10~100mV时, C/S变化在P/S的25%~75%之间	<10 mV时, C/S变化大于P/S的75%
极化测试 (主观性)	对套管施加电流, 测试电阻	P/C电阻值>0.1 Ω	P/C电阻值大于0.01 Ω,小于等于0.1 Ω	P/C电阻值≤0.01 Ω
C/P电容 (未被行业认可)	测试电容	无	无显示	显示“短路”
CIPS (套管上下游管道)	管道真实保护电位	轻微电位衰减,但保护电位负于−850 mV	中等电位衰减,但保护电位负于−850 mV	大幅电位衰减,或保护电位正于−850 mV

管与管道的“ON”电位进行同时测试和记录 (图2)。测试结果表明，该穿越段管道阴保电位在−1000 mV左右，套管对地电位在−900 mV左右，二者间的差别在100 mV。说明有阴保电流流入套管和被保护的管道，套管与管道之间有电解质存在。

3.2 PCM和ACVG测试

3.2.1 穿越段A处检测结果　PCM型号发射机放置在478处，直流电源为2×12 V，发射模式为ELCD，发射电流为600 mA，沿输油站方向距套管100 m处开始测试，每10 m记录一次 (图3)。测试结果表明，管道在穿越前后，电流值有明显的衰减，且衰减值>25%，说明管道有金属搭接，致使电流信号损失。

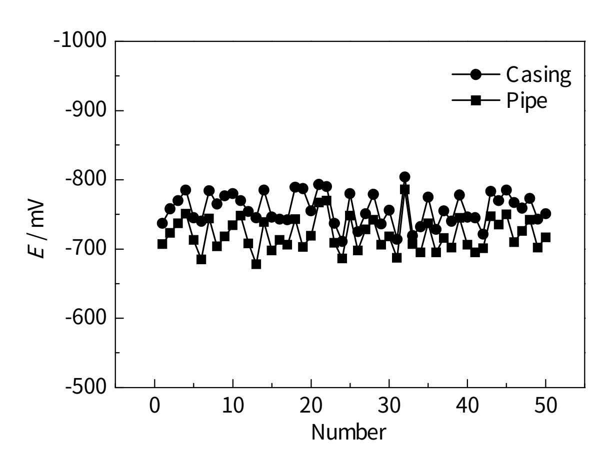


图1 穿越段A处管道和套管的对地电位

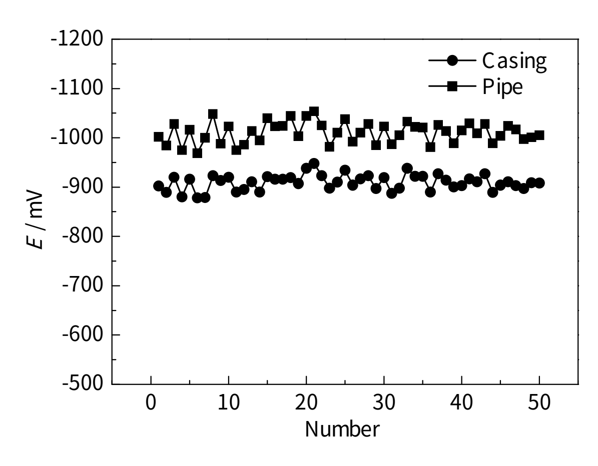


图2 穿越段B处管道和套管的对地电位

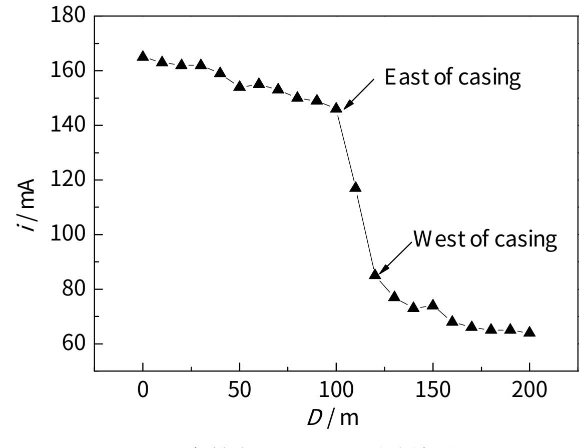


图3 穿越段A处PCM测试结果

ACVG测试是利用A字架测量两固定金属地针之间的电位差，由于金属地针与地面要良好的接触，而公路表面无法达到该条件，所以只获取穿越段前后的数据，依据接收机显示dB值>80，因此结合以上数据可以确定该处管道处于短路状态。

3.2.2 穿越段B处检测结果　PCM型号发射机放置在测试桩480处，与穿越段A同样的发射参数沿输油站方向距套管100处开始测试，每10m记录一次 (图4)。测试结果表明，管道在穿越前后，电流值有衰减趋势，衰减值<25%，说明管道有电解质通道，致使电流信号损失。同样利用A支架测量该穿越段的dB值，结果显示其值在70 dB左右。

3.3 穿越处管道上下游CIPS测试

由于穿越段A处“ON”电位已低于阴极保护的范围，所以无需对其进行CIPS测试，仅对穿越段B前后管道阴极保护ON/OFF电位检测 (图5)，设置电位通断周期为：通4 s，断1 s。测试结果表明，该穿越段由于有电解质存在，使得管道两侧的保护电位整体下降，但根据断电位判断可知，管道在有效阴极保

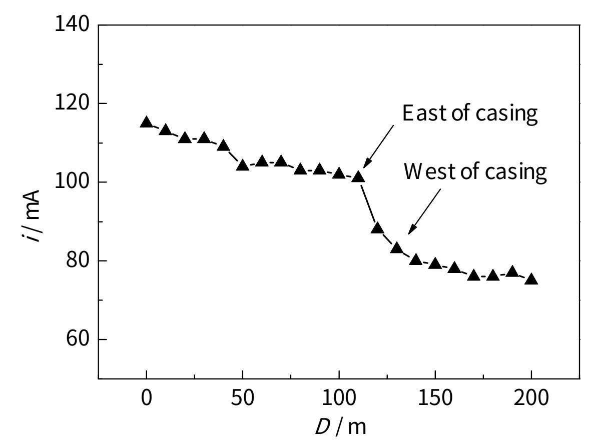


图4 穿越段B处PCM测试结果

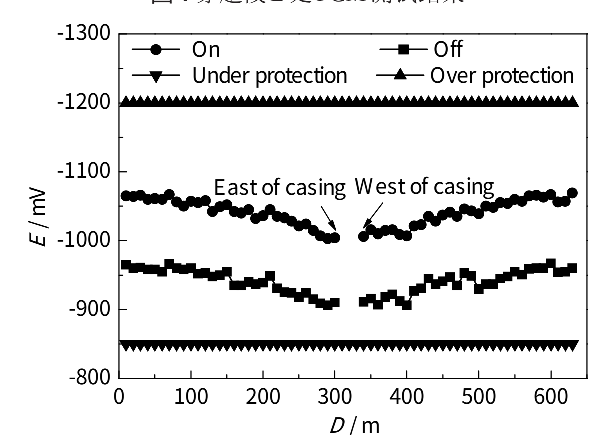
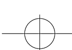


图5 穿越段B处上下游管道CIPS测试结果



护范围之内。

3.4 短路连接点位置确定

利用电位分配法对穿越段A处管道连接点的位置进行确定，对套管端部的管道两端施加一定的直流电压，测试其两点间的电压为 V_1，同时分别测试套管两端与其端部处管道之间的电压 V_2 和 V_3，所测电压 V_1，V_2 和 V_3 的对应长度分别为 L_1，L_2 和 L_3，连接点的位置可由式 (1) 计算得出：

$$V_1/L_1 = V_2/L_2 + V_3/L_3 \tag{1}$$

对现场套管两端开挖测试，连接并处理好接口，分别测试上述电压值，V_1=12 V，V_2=4 V，V_3=1.2 V，计算得出 L_2=20 m，L_3=4 m，所以可以判定管道与套管连接点距套管西端4 m处。

3.5 穿越段故障分析

3.5.1 穿越段A处短路情况分析　套管与管道之间发生金属连接，造成这种原因可能是由于包扎填充物的铁丝连接、牺牲阳极的脱落搭接或是由于绝缘垫片的消解使得管道或套管发生机械变形接触，这些情况打破了原来套管与管道之间绝缘的条件。由于金属连接损失了大量管道的阴保电流，因此短路相当于一个大的涂层缺陷，这可能会降低管道的保护电位和影响管道的完整性，同时无论连接点在套管内外，该处都有可能出现压力集中的情况。

3.5.2 穿越段B处有电解质情况分析　埋地管道和保护套管之间是干燥绝缘的，但由于地下水位波动、载荷变化、密封失效、涂层老化及管道的迁移等因素使得套管环形空间内集聚电解质，这些电解质可能是潮湿的空气、地下水、淤泥或全部。套管内部电解质 (水或淤泥) 电阻值远小于套管外部的电解质，而且和地域位置有关，如果地下水位足够的高，管道可能部分或全部浸在电解质中，如果此时套管无涂层，这时阴保电流可以很容易到达涂层缺陷处，但是如果管段处于季节性的地域位置，地下水位有波动，那么管道水位线处易发生大气腐蚀。

4 修复工作

4.1 优先修复参考标准

通过对管道非直接检测数据分析可以确定后续直接检测和修复的优先级，不同的管道可能需要不同的参考标准，但都必须考虑历史发生率、年环境变化、运行状况、检测工具应用等因素。表3为套管处修复工作优先级参考标准，但并非严格标准。

参照上述标准，对检测管段修复情况等级分类，穿越段A处由于金属短路且保护电位不足的情况，所以应采取立即修复措施，防止事故的发生和不必要的经济损失。穿越段B处由于有电解质的存在，使得套管内管道处于阴极保护的范围内，且电位降幅属于轻微等级，管道涂层状况依据AC电流衰减判断属于中等状况，所以应把该处的修复工作纳入计划之中。

4.2 修复方案

套管处的修复工作首先应确定合理的修复方案来解决套管处存在的问题，其一由于不同的修复方法有各自的优缺点 (表4)，所以应根据实际情况制定，其二必须考虑各方案的经济性。

参考上述各修复方案，穿越段A处宜采用修整管道结构方案，而后利用直接检测设备分析和确定管道破损点的大小以及是否得到阴极保护。穿越段B由于环形空间内有电解质且涂层有破损点，所以应开挖套管两端直接检测，可采用超声导波技术[4] (GWUT) 或履带式相机[5]进一步确定破损点的位置和大小，从而采取合理的修复方案。

表3 套管处优先修复参考标准

根据ECDA调查结果判断修复工作优先性	涂层状况等级分类	根据CIPS调查结果, 管道阴极保护等级分类			
		无	轻微	中等	严重
基于AC电流衰减调查结果	无	无需修复	监测	计划修复	立即修复
	轻微	监测	监测	计划修复	立即修复
	中等	监测	计划修复	计划修复	立即修复
	严重	计划修复	计划修复	立即修复	立即修复
基于DC或AC电压降调查结果	无	无需修复	监测	计划修复	立即修复
	轻微	监测	监测	计划修复	立即修复
	中等	监测	计划修复	计划修复	立即修复
	严重	计划修复	计划修复	立即修复	立即修复

表4 各修复方法优缺点

修复方案	描述	优点	缺点
移除套管	开挖并切割套管，修复或重涂管道	技术最佳	部分管段难以移除，技术复杂且相对昂贵
切割套管	若电气连接，切除连接段的套管	技术可行；经济划算	可能会再次接触；只能应用于套管端部
修整管道	开挖管道，修整并固定管道和套管	技术可行；经济划算	只能应用于套管端部
填充水泥	套管端部或通风口灌入沙子、水泥砂浆等	简单廉价	易在管道表面形成阳极区；可能对交流腐蚀有影响
填充石蜡	填充石蜡类物质	容易实现；无压力灌注；	产品昂贵；重塑性未证实
安装阳极	管道上缠绕镁带或锌带	经济划算	只能用在新管线上；防护措施难分析；易受交流干扰
替换或新建穿越段	替换旧管道或新建穿越段	技术最好	耗资非常昂贵；管道必须停运

5 结语

明确套管与管道间短路的标准以及在不同测试方法下管道保护状况的等级分类，可为后续直接检测和修复工作提供指导。穿越段A和B检测结果表明：PCM和ACVG检测可以判断管道是否短路和防腐层的整体保护效果；电位分配法可以确定短路点的具体位置；ON/OFF电位测试可以判断套管上下游管道是否得到有效地阴极保护。根据管道的不同腐蚀状况优化修复工作的先后顺序，选择合理的修复方案。套管内管道的涂层状况、阴极保护效果及腐蚀情况预测需在特殊条件下才能实现：(1) 套管和管道绝缘；(2) 环形空间内充有电解质；(3) 套管无涂层，当其中一个条件不满足时，检测结果无法有效证实。所以更多的实验和测试工作需要不断的开展，以建立合理的方法来应用检测和实验数据。

参考文献

[1] GB 50423-2007 油气输送管道穿越上程设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008

[2] 孙雁伯, 陈华. 油气管道短距离定向钻套管穿越公路技术 [J]. 管道技术与设备, 2010, (2): 37

[3] 张珂, 史国富. 钢质套管对埋地管道阴极保护的影响 [J]. 腐蚀与防护, 2007, 28(11): 580

[4] 翁永基, 董旭. 导波超声技术检测带套管管道的腐蚀 [J]. 管道技术与设备, 2004, (6): 36

[5] Daphne D'Zurko. Cased pipe risk assessment and inspection technologies for natural gas pipelines operated by local distribution companies [A]. Corrosion/2009 [C]. Houston, Texas: NACE, 2009, 09141

